

**Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et
de l'Aménagement du Territoire - Université de Montpellier**



Mémoire pour obtenir le diplôme de

MASTER

Spécialité : Nutrition, agrovalorisation en santé publique

Présenté et soutenu le 28 septembre 2012

Par

LUCIEN Jean Matus

**Etude de la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.) en
galettes : Impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle.**

Jury

P. Bohuon	Maître de conférences Montpellier Supagro	Président
M. Dornier	Professeur Montpellier SupAgro	Tuteur
J.C. Dumas	Chercheur au CIRAD	Maître de stage
S. Zozio	Chercheur au CIRAD	Examineur
M. Cissé	Chercheur au CIRAD	Examineur

Stage réalisé au sein de :

**Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le
Développement (CIRAD)**

73 rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Avant propos

Le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) créé en 1984, est un centre de recherche français. Etablissement public à caractère industriel et commercial, le Cirad est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes. En partenariat avec les pays du Sud, le Cirad a une mission de formation, ainsi que de production et de partage de nouvelles connaissances, afin d'accompagner leur développement agricole. L'objectif global du Cirad est d'imaginer une agriculture équitable, préservant la santé et l'environnement, capable de nourrir 8 milliards d'êtres humains en 2030.

Le Cirad comprend 37 unités de recherche réparties dans trois départements scientifiques dont l'Unité Mixte de recherche Qualisud, aussi appelée « Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité. Par l'intermédiaire de cette unité, Le Cirad coordonne le projet européen AFTER (African Food Tradition Revisited by Research) qui compte valoriser des produits traditionnels africains et leur savoir-faire afin d'en faire bénéficier les consommateurs et les producteurs en Afrique et en Europe. Du gagnant-gagnant! C'est dans le cadre de ce projet que mon stage sur « *l'Etude de la transformation du fruit du jujubier (Ziziphus mauritiana Lam.) en galettes : Impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle* » s'est déroulé.

La réussite de ce stage a été possible avec l'aide d'une manière ou d'une autre de plusieurs personnes que je me fais le devoir de remercier.

Mes remerciements vont à l'endroit de (s) :

- ✚ Mr Dominique Pallet, coordonateur du projet AFTER, pour m'avoir accepté au niveau du projet.
- ✚ Mr Philippe Bohuon, responsable du Master, qui s'est beaucoup impliqué pour l'obtention du stage
- ✚ Mr Manuel Dornier, mon tuteur pédagogique, pour son support et ses corrections
- ✚ Mr Jean Claude Dumas, mon maître de stage qui a toujours été disponible
- ✚ Mme Suzie Zozio, thésard dans le cadre du projet, qui m'a encadré et accompagné tout au long du stage.
- ✚ Mlle Line Cosmidis, stagiaire également dans le projet, avec qui j'ai eu une collaboration parfaite
- ✚ Techniciens de laboratoire : Julien, Pascaline pour leur aide.
- ✚ Tous les autres stagiaires et personnels du Cirad qui, d'une façon ou d'une autre m'ont apporté leur aide.
- ✚ Enfin, mes parents Mr et Mme Saurel LUCIEN, mon frère Herby LUCIEN et ma sœur Marie Rithlie LUCIEN et mon ami Didier Dodier qui m'ont toujours soutenu et encouragé.

Auteur : LUCIEN Jean Matus

Titre : Etude de la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) en galettes. Impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle

Région : Montpellier, France

Institution : Cirad, Montpellier

Tuteur : Manuel Dornier

Mots-clés : Jujube, galettes, polyosides, degré de méthylation, polyphénols, capacité antioxydante

Résumé

Ce travail, réalisé dans le cadre du projet européen AFTER (African Food Tradition Revisited by Research) coordonné par le CIRAD dont l'objet est de valoriser des produits traditionnels africains et leur savoir-faire, porte sur l'étude de la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.) en galettes et de l'impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle de ces galettes. Une première partie consistait à étudier les polyosides du fruit à 5 stades de maturité. Pour cela, les matières insolubles dans l'alcool (MIA), les polyosides solubles dans l'eau (PSE), la teneur en acide galacturonique (AG) et le degré de méthylation (DM) des pectines ont été déterminés. Les résultats (en % lyophilisat) obtenus pour les MIA (38,35 - 47,39 %), pour les PES (4,67 - 6,06%) et pour les AG (2,36 - 2,94%) ne montrent pas de différence significative entre les stades. Les caractéristiques nutritionnelles (vitamine C, polyphénols totaux et capacité antioxydante) des fruits et farines des stades 3 et 5 et des galettes cuites à différents temps de cuisson ont été étudiées. La teneur en vitamine C des fruits du stade 3 (133,35 mg/100g MS) est plus élevée que celle des fruits du stade 5 (5,64 mg/100g MS). Elle est plus élevée pour les fruits comparés aux farines et nulle pour les galettes. La teneur en polyphénols totaux (PHT) et la capacité antioxydante (CAO), évoluant dans le même sens, ne change pas du fruit à la farine. Cependant, une différence de 2051 mg/100g MS et de 21,89 mmole Trolox/100g MS est observée entre le stade 3 et 5 respectivement pour le PHT et le CAO. En outre, une augmentation de 13% et 22% est observée de 5 à 15min de cuisson respectivement pour les PHT et la CAO. En ce qui concerne la fabrication des galettes, les fruits ont été séchés entiers ou dénoyautés à différentes températures (45, 50 et 60°C) ; les galettes ont été fabriquées avec des farines de granulométrie différente (75, 465, 812 µm) à différents temps de cuisson (5, 7, 10, 15 et 20 min). Le séchage des fruits dénoyautés à 45°C a donné de meilleurs résultats (temps de séchage plus courts, pas de problème de brunissement des fruits). Parallèlement, les galettes fabriquées avec la farine de granulométrie intermédiaire entre 7 et 10 min de cuisson sont meilleures (fondantes et moelleuses). En outre, les fruits du stade 3 seraient de meilleures qualités nutritionnelles que le stade 5. Il serait donc préférable de faire les galettes avec le stade 3.

Auteur : LUCIEN Jean Matus

Titre : Etude de la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) en galettes. Impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle

Région : Montpellier, France

Institution : Cirad, Montpellier

Tuteur : Manuel Dornier

Keywords : Ber, pancakes, polysaccharides, degree of methylation, polyphénols, antioxydant capacity

Abstract

This work, realized within the context of the European project AFTER (African Food Tradition Revisited by Research) coordinated by the CIRAD which object is to value African traditional products and their know-how, concerns the study of the ber fruit (*Ziziphus mauritiana* Lam.) processing in pancakes and the impact of cooking on the nutritional quality of these pancakes. A first part consisted in studying the polysaccharides of the fruit in 5 ripening stages. For that purpose, alcohol insoluble materials (AIM), water soluble polysaccharide (WSP), the content in galacturonic acid (GA) and the degree of pectins methylation were determined. The result (in lyophilisate %) obtained for the AIM (38,35 - 47,39 %), for WSP (4,67 - 6,06 %) and for GA (2,36 - 2,94 %) do not show significant difference between stages. The nutritional characteristics (vitamin C, total polyphenols and antioxidant capacity) do not change from the fruit to the flour. However, a difference of 2051,01 mg/100g of dried material and of 21,89 mmole Trolox/100g dried weight is observed between the stages 3 and 5 respectively for total polyphénols and the antioxydant capacity. Besides, an increase of 13 and 22% is observed from 5 to 15 min of cooking respectively for the total polyphénols and the antioxydant capacity. As far as the cooking of pancakes is concerned, fruits were entirely dried or stoned in various temperatures (45, 50 and 60°C); pancakes were made with flours of different particles sizes (75, 465, 812 μm) at different time of cooking (5, 7, 10, 15 and 20 min). The drying of stoned fruits in 45°C gave better results (shorter time of drying, no problem of browning of fruits). At the same time, pancakes made with the flour of intermediate size grading between 7 and 10 min of cooking are better (tender and softness). Besides, fruits of the stage 3 would have better nutritional qualities than the stage 5. It would be thus preferable to make pancakes with the stage 3.

Auteur : LUCIEN Jean Matus

Titre : Etude de la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) en gallettes. Impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle

Région : Montpellier, France

Institution : Cirad, Montpellier

Tuteur : Manuel Dornier

Palabras clave : azufaifo, galletas, polisacáridos, grado de metilación, polifenoles, capacidad antioxidante

Resumen

Este trabajo, llevado a cabo en el marco del proyecto europeo AFTER (African Food Tradition Revisited by Research), coordinado por el CIRAD, cuyo propósito es promover los productos tradicionales africanos y el saber hacer, incluye el estudio de la transformación de frutas de azufaifo (*Ziziphus mauritiana* Lam.) en las galletas y del impacto de la cocción sobre la calidad nutricional de las mismas. La primera parte fue estudiar los polisacáridos de la fruta en 5 etapas de madurez. Para ello, el material insoluble en alcohol (MIA), los polisacáridos solubles en agua (PSA), el contenido de ácido galacturónico (AG) y el grado de metilación (GM) de la pectina se determinaron. Los resultados (lío-filizado en %) obtenidos para MIA (38,35 a 47,39%) para el PSA (4,67 a 6,06%) y AG (2,36 el 2,94%) no muestran diferencias significativas entre las etapas. Las Características nutricionales (vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante) de las frutas y de harina de las etapas 3 y 5 y de las empanadas cocinadas en la cocina se estudiaron diferentes. El contenido de vitamina C de los frutos de la etapa 3 (133,35 mg/100g MS) es mayor que el de los frutos de la etapa 5 (5,64 mg/100 g de MS). Es mayor en los frutos en comparación a las harinas y es casi cero para las galletas. El contenido de polifenoles totales (PHT) y la capacidad antioxidante (CAO), se desenvuelven en la misma dirección, no cambia de la fruta a la harina. Sin embargo, una diferencia de 2051,01 mg/100g MS y 21,89 mmol Trolox/100g MS se observó entre la etapa 3 y 5, respectivamente, para los PHT y el CAO. Además, un aumento de 13% y 22% se observó 5 a 15 minutos de cocción respectivamente para PHT y el CAO. En lo que respecta a la fabricación de galletas, las frutas se secaron enteras o sin semilla a diferentes temperaturas (45, 50 y 60°C); las galletas fueron hechas con harinas de diferente tamaño de partícula (75, 465, 812 µm) con tiempos de cocción diferentes (5, 7, 10, 15 y 20 min). El secado de los Frutos sin semilla, a 45°C tuvo mejores resultados (tiempo de secado más corto, no hay problema de brunissement de las frutas). Mientras tanto las galletas hechas con harina de tamaño de partícula intermedia (465µm) entre 7 y 10 minutos de cocción son las mejores (suave). Además, los frutos de la etapa 3 tendrían mejores calidades nutricionales que la etapa 5. Sería mejor hacer las galletas con la etapa 3.

Table des matières

Avant propos	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Resumen	iv
Introduction	1
1. Étude bibliographique	2
1.1. Présentation de la plante (<i>Ziziphus mauritania</i> Lam.).....	2
1.2. Composition chimique et valeur nutritionnelle du fruit	2
1.3. Utilisations des différentes parties de la plante.....	4
1.4. Les polyosides	4
1.4.1. La cellulose et les hémicelluloses	5
1.4.2. Les substances pectiques	5
1.4.3. Composition de la paroi cellulaire du jujube	6
2. Matériels et méthodes	7
2.1. Matériel végétal	7
2.2. Étude des polyosides	7
2.2.1. Extraction des polyosides	7
2.2.2. Dosage des acides uroniques	8
2.2.3. Détermination du degré de méthylation	8
2.3. Analyses biochimiques des fruits, de la farine et des galettes	9
2.3.1. Analyses courantes.....	9
2.3.2. Acidité titrable	9
2.3.3. Mesure de la granulométrie de la farine	9
2.3.4. Mesure de la texture des galettes	10
2.3.5. Dosage de la vitamine C des fruits et des farines	10
2.3.6. Mesure de la teneur en polyphénols totaux des fruits, des farines et des galettes	10
2.3.7. Détermination de la capacité anti-oxydante des fruits, des farines et des galettes	10
2.4. Fabrication des galettes.....	11
2.4.1. Le séchage	11
2.4.2. Broyage des fruits séchés	11
2.4.3. Cuisson des galettes	11

2.5. Traitement statistique des données	11
3. Résultats et Discussion.....	12
3.1. Résultats.....	12
3.1.1. Étude des polyosides	12
3.1.1.1. Évolution de la teneur en matières insolubles dans l'alcool (MIA), en polyosides solubles dans l'eau (PSE) et en acides galacturoniques (AG) en fonction des 5 stades de maturité.....	12
3.1.1.2. Degré de méthylation des acides uroniques	12
3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des fruits, farine et galettes	13
3.1.3. Caractéristiques nutritionnelles.....	14
3.1.3.1. Teneur en vitamine C des fruits et farines du stade 3 et 5	14
3.1.3.2. Teneur en polyphénols totaux (PHT) des fruits, farines et galettes.....	15
3.1.3.3. Capacité anti-oxydante des fruits, farines et galettes.....	15
3.1.4. Optimisation du processus de fabrication des galettes.....	16
3.1.4.1. Dénoyautage et séchage des fruits	16
3.1.4.2. Fabrication des galettes	17
3.2. Discussion	18
3.2.1. Etudes des polyosides.....	18
3.2.2. Caractéristiques nutritionnelles.....	19
3.2.3. Optimisation du processus de fabrication des galettes.....	20
Conclusion et perspectives	21
Références bibliographiques	22
Annexe 1 : Photos de fabrication du Yaabande au Cameroun	25
Annexe 2 : Matériels de fabrication des galettes	26
Annexe 3 : Cinétique de perte en eau des fruits au cours du séchage	26
Annexe 4 : Diagramme de fabrication des galettes	27
Annexe 5 : Photos de fabrication des galettes	28

Introduction

Le *Jaabi* encore appelé *jujube tropical* ou « *pomme surette* » (*Ziziphus mauritiana* Lam.) est le fruit du jujubier, arbre largement répandu dans les savanes Soudano-Sahéliennes de l'Afrique, au Nord-Cameroun et également aux Antilles Françaises. Appartenant à la famille des Rhaminacées, il existe deux espèces majoritaires domestiquées dans le monde : *Ziziphus mauritiana* Lam., jujube indienne, connu sous le nom de « Ber » et *Ziziphus jujuba* Miller, le jujube de Chine (**Azam-Ali et al., 2006**).

Vraisemblablement originaire de l'Asie tropicale, cette plante s'accommode des conditions climatiques chaudes et sèches. On la retrouve dans des zones arides et semi arides de plusieurs pays d'Afrique et de l'Asie du sud. En raison de son adaptation aux conditions climatiques difficiles, cette plante apporte aux populations locales un complément alimentaire de qualité. Elle fait partie du groupe dit « fruits miracles des zones chaudes et sèches » (**Depommier, 1988**)

Riche en vitamine C, en sucres et en matières minérales, le jujube est également reconnu pour ses effets biologiques et son activité antioxydante (**Nag et Chouhan, 2009; Pawlowska et al., 2009; Zhang et al., 2010**)

Généralement consommée fraîche, elle est aussi transformée en boissons, compotes, gelées, gâteaux et pains en Inde (**Rathore, 2002; Shobha et Bharati, 2007a; 2007b**). Au Cameroun, le jujube est utilisé dans la préparation du « Yaabande », galette fabriquée à partir de la pulpe sèche du fruit. Cette galette a l'originalité d'être fabriquée uniquement à partir de la farine issue du fruit séché, sans aucun ajout d'ingrédients.

Nous allons donc dans un premier temps, optimiser les conditions de séchage des fruits et de cuisson des biscuits pour enfin nous intéresser à l'étude de l'impact du procédé de cuisson sur certains descripteurs de la qualité nutritionnelle du fruit tels que la vitamine C, les polyphénols ainsi que la capacité antioxydante.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet européen AFTER (African Food Tradition Revisited by Research) coordonné par le CIRAD dont l'objectif principal est d'améliorer et de valoriser les produits traditionnels Africains et leur savoir-faire.

1. Étude bibliographique

1.1. Présentation de la plante (*Ziziphus mauritania* Lam.)

Le jujubier appartient à la famille des Rhaminacées et au genre *Ziziphus* qui contient environ 40 espèces, dont les plus connues sont *Ziziphus mauritania* Lam. (Jujube d'Inde) appelé aussi « pomme surette » et *Ziziphus jujuba* Mill. (Jujube de Chine). L'origine du jujubier est incertaine, mais il serait vraisemblablement originaire de l'Asie tropicale (ICUC, 2001). Il est décrit comme un arbuste épineux ou un buisson dont la hauteur peut aller de 3-4m jusqu'à 10-16 m ou plus (figure 1). Son tronc mesure environ 30 cm, il atteint rarement 20 m de hauteur (Koné *et al.*, 2009).



Figure 1: Photos de jujubier (*Ziziphus mauritania* Lam.), des détails des feuilles et des fruits

Cette plante s'adapte très bien aux conditions environnementales chaudes et sèches. Elle pousse dans les régions tropicales et subtropicales les plus sèches du monde. Ceci explique qu'elle est très répandue dans les zones arides et semi arides de l'Afrique (Burkina Faso, Cameroun, Gambie, Guinée, Mali, Niger, Sénégal...) et de l'Asie du sud (Inde, Pakistan, Bangladesh, Sri Lanka). En raison de son adaptation aux conditions climatiques difficiles, le jujubier joue un rôle important dans la sécurité alimentaire des populations locales.

Le fruit du jujubier est une drupe glabre, globuleuse ou ovale, dont le diamètre (1,2-1,5 cm) varie énormément (figure 1). Certaines variétés ovales cultivées atteignent jusqu'à 3 à 5 cm de diamètre. Les fruits contiennent un gros noyau enveloppé dans une pulpe blanchâtre plus ou moins farineuse. La peau est verte, virant au jaune-vert puis au rouge-brun au cours de la maturation. Ils se comportent plutôt comme des fruits climactériques. Ils sont de meilleure qualité quand ils sont cueillis au bon stade de maturité. En effet, les fruits immatures ne sont pas sucrés et ont un goût astringent, tandis que les caractéristiques organoleptiques des fruits trop mûrs diminuent considérablement (Azam-Ali *et al.*, 2006).

1.2. Composition chimique et valeur nutritionnelle du fruit

Les propriétés nutritionnelles de la pulpe de jujube sont largement reconnues. Sa richesse en vitamine C et A, en molécules anti oxydantes et en minéraux, tels que le phosphore et le calcium en fait un fruit de grande valeur nutritionnelle. La composition chimique varie considérablement avec la variété et aussi avec le stade de maturité.

Ibrahim *et al.*, (2009) ont étudié la composition biochimique de plusieurs variétés de jujube d'Inde. Selon leurs résultats, la pulpe représente entre 85,4 et 93,6% du fruit qui contient entre 73,6 et 86,4 d'eau. La teneur en vitamine C varie entre 24 et 59 mg/100g de pulpe.

La pulpe de jujube contient entre 12,8 et 13,6% de glucides dont 5,6% de saccharose, 1,5% de glucose, 2,1% de fructose et 1% d'amidon (**Jawanda et al., 1981**). Sa composition en vitamine C varie entre 70 et 165 mg/100g (**J. S. Bal et Mann, 1978**). Elle contient environ 70 UI de vitamine A/100g de fruits et sa teneur en β -carotène est comprise entre 75 et plus de 80 mg/100g (**J. S. Bal et al., 1978**).

Les propriétés et la composition physico-chimique de cinq variétés de jujube (*Komethry, Pakstany, Umsulaem, Toffahy, Peyuan*) ont été aussi étudiées par **Obeed et al., (2006)**. Les données présentées dans le tableau 1, montrent des différences significatives entre les variétés.

Tableau 1 : Propriétés et composition chimique de cinq variétés de jujube d'Inde

Variétés	Propriétés et composition chimique des fruits							
	Poids (g)	Pulpe (%)	ESS (%)	Acidité (%)	Vit. C (mg/100g pulpe)	Sucres réducteur (%)	S. non réducteurs (%)	Sucres totaux (%)
<i>Komethry</i>	22,61	95,00	10,60	0,50	120,15	5,77	4,34	10,01
<i>Pakstany</i>	15,68	94,00	12,83	0,36	65,00	5,12	5,75	10,87
<i>Umsulaem</i>	14,72	95,00	9,83	0,83	133,50	4,77	3,97	8,64
<i>Toffahy</i>	31,32	93,75	8,93	0,61	43,95	5,03	2,85	7,88
<i>Peyuan</i>	33,03	91,00	10,86	0,43	57,90	6,55	2,48	9,03

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation. En d'autres termes, elle correspond à la capacité de ces composés à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$) et superoxydes ($\text{O}_2\cdot$) et les peroxydes ($\text{ROO}\cdot$) (**Popovici et al., 2009**). Les antioxydants les plus connus sont le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E) ainsi que les composés phénoliques dont les flavonoïdes.

En effet, ces antioxydants permettent à l'organisme humain de réduire les dommages oxydatifs lorsque son système de protection antioxydante est déséquilibré. Dans ce cas, des réactions en chaînes se produisent ayant comme conséquence la multiplication de nouveaux radicaux libres qui peuvent causer des dommages aux cellules de l'organisme. Des études épidémiologiques ont montré que la consommation de fruits et légumes riches en ces composés est liée à une réduction des risques de beaucoup maladies comme les maladies cardiaques, les cancers, l'arthrite ou les processus de vieillissement (**Jin-weia et al., 2005**).

Koley et al., (2011) ont étudié l'activité anti-oxydante de 12 variétés de jujube d'Inde. Ils ont mesuré entre autres leur teneur en composés phénoliques totaux, en vitamine C et leur capacité antioxydante. La teneur en vitamine C trouvée pour les différents cultivars varie de $19,5 \pm 1,8$ à $99,5 \pm 1,5$ mg/100g poids frais (PF) et les composés phénoliques totaux exprimés mg équivalent d'acide gallique pour 100g PF varient entre $172 \pm 31,8$ à $328,6 \pm 14,0$. La capacité antioxydante évaluée par la méthode FRAP varie entre $7,4 \pm 1,0$ et $13,9 \pm 2,6$ $\mu\text{mole Trolox/g PF}$, le Trolox étant un équivalent de la vitamine E. Les auteurs ont expliqué que les différences observées entre les variétés pourraient être dues aux conditions de croissance et de niveaux de maturités des fruits utilisés.

1.3. Utilisations des différentes parties de la plante

L'utilisation qui est faite des différentes parties du jujubier est multiple. En effet, les feuilles sont utilisées comme fourrage pour les bovins, les caprins et ovins. Les feuilles, les racines et l'écorce sont utilisées à des fins médicinales. Cependant, le fruit constitue l'intérêt principal du jujubier. Il est consommé sous différentes formes par les populations locales et fait l'objet d'échanges commerciaux intenses qui impliquent majoritairement les femmes. Ils sont consommés frais, sous forme de jus ou sont transformés en farine pour diverses utilisations alimentaires : pâte, gâteaux, boissons, bouillie (**Koné et al., 2009**). Quand ils sont transformés en farine, ils sont séchés au soleil pendant 8 à 10 jours et ensuite pilés au mortier afin de les séparer des noyaux sans que ces derniers ne cassent et les transformer en farine au cours de la même opération (**figure 2**).

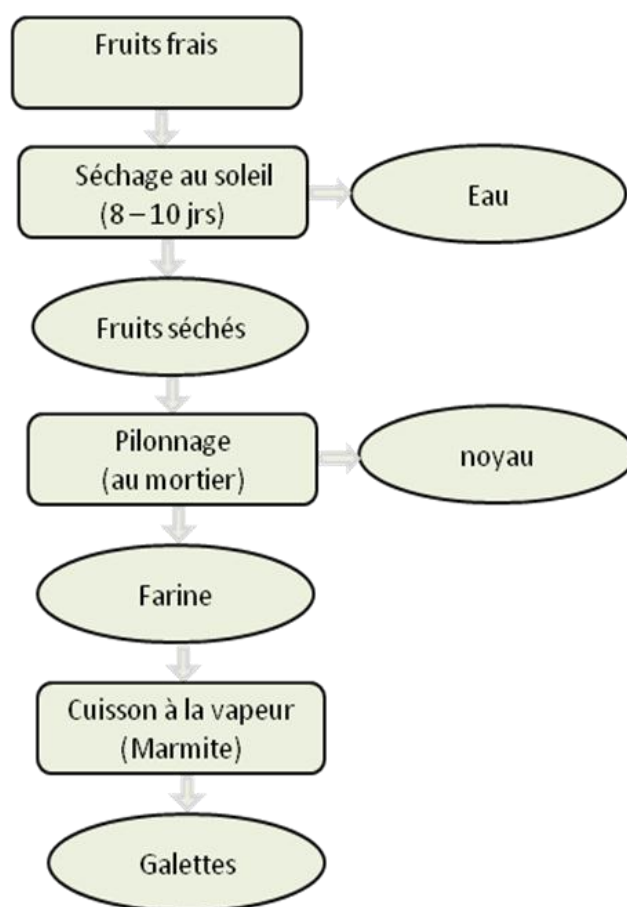


Figure 2 : Diagramme de fabrication traditionnelle des galettes de jujube (AFTER, 2010)

1.4. Les polyosides

Les polyosides constituent la partie la plus importante des constituants de la paroi cellulaire. Ils sont définis comme des homo ou des hétéropolymères constitués d'enchaînements linéaires ou ramifiés d'oses neutres à 6 atomes de carbone (hexose) ou à 5 atome de carbone (pentose) et d'oses acides à 6 atomes de carbone (acides uroniques). Ils sont généralement répartis en 3 grandes catégories qui sont : la cellulose, les hémicelluloses et les substances pectiques.

1.4.1. La cellulose et les hémicelluloses

La cellulose est le principal polysaccharide de structure des végétaux. Elle est considérée comme la molécule organique la plus répandue dans la nature. La molécule de cellulose est un homopolymère linéaire formé par un enchaînement d'unités cellobiose, motif composé de deux D-glucopyranoses liés par une liaison glucosidique β -(1 \rightarrow 4). Elle peut contenir de 300 à 15000 monomères de glucose selon sa provenance et sa situation au sein de la paroi cellulaire. La cellulose est insoluble dans l'eau mais la présence des fonctions hydroxylées lui donne un caractère hydrophile qui lui permet de fixer un grand nombre de molécules d'eau entraînant son gonflement. Elle se comporte dans ce cas comme un hydrocolloïde.

Contrairement à la cellulose, les hémicelluloses ne peuvent pas être décrites de façon succincte du fait de leur importante diversité. Elles sont décrites comme des polymères de pentoses ou d'hexoses mixtes de saccharides neutres (xylose, arabinose, mannose, galactose, glucose) et de saccharides acides, essentiellement l'acide glucuronique. La chaîne principale de ces polymères est généralement constituée par un seul monosaccharide sur lequel d'autres saccharides viennent se greffer. On utilise le suffixe « ane » pour désigner la nature du monosaccharide constituant l'axe principal de l'hémicellulose. Ce sont les β glucanes non cellulosiques, les xyloglucanes, les xylanes, les galactanes et les mannanes.

Ces molécules sont utilisées en industrie comme épaississants ou agents de stabilisation. En fonction de la répartition plus ou moins homogène des substituants, on peut obtenir la mise en place de gel si les zones de jonction sont suffisamment importantes (**Bouquelet, 2008**).

1.4.2. Les substances pectiques

Les pectines sont les constituants essentiels de la lamelle moyenne des cellules. Elles sont à la base du ciment qui réunit les cellules entre elles. Au niveau du fruit, le polymère est lié avec d'autres chaînes de pectines, avec des celluloses ou des protéines. Elles sont caractérisées par une forte teneur en acide galacturonique (GalA). Elles sont formées d'une chaîne principale linéaire constituée d'acides galacturoniques liés en α -(1 \rightarrow 4) sur lesquelles s'insèrent des résidus de L-rhaminose. Ces derniers introduisent dans la chaîne principale des coudes qui donnent à la chaîne une configuration en zig-zag. Des chaînes latérales de nature diverse d'arabinane, de galactane et arabinogalactane sont aussi greffées sur le squelette rhamino-galacturonique, ce qui est à la base de la grande diversité de ces polymères.

Les pectines sont caractérisées par leur degré de méthylation (DM), défini comme étant le pourcentage de groupements carboxyles estérifiés par le méthanol (**Levigne et al., 2002**). Ainsi, en fonction du DM, on distingue : les pectines HM (hautement méthylées) qui ont un degré d'estérification supérieur à 50 % et les pectines LM (faiblement méthylées) dont le degré d'estérification est inférieur à 50 %. Le DM est un paramètre important qui influe sur le processus et le mécanisme d'association des pectines dans la formation des gels.

Les pectines HM forment des gels en présence de sucres neutres et en milieu acide. En effet, la gélification nécessite la formation de liaisons hydrogène entre les chaînes de pectines. Elles sont favorisées par des molécules de sucre qui, en emprisonnant l'eau, facilitent les interactions entre les chaînes. En outre, elles sont plus aptes à se former dans un milieu acide de pH compris entre 2,5 et 3,5.

Les pectines LM forment des gels plutôt en présence d'ions bivalents notamment avec le calcium. Dans ces pectines, les fonctions acide -COOH, prépondérantes sont facilement

dissociées en COO^- et H^+ . Elles comportent donc un nombre important de charges négatives localisées rendant leur association beaucoup plus difficile. Leur rapprochement est favorisé en ajoutant des cations divalents comme le calcium qui vont former des ponts entre les charges négatives localisées des molécules (Combo *et al.*, 2011).

Les pectines sont d'une importance considérable pour les industries agro-alimentaire. Elles sont utilisées comme agents de texture, gélifiants, stabilisants et épaississants.

1.4.3. Composition de la paroi cellulaire du jujube

Les données sur la caractérisation des polyosides du jujube concernent surtout la variété *Ziziphus jujuba* Mill. Celles concernant la variété *Ziziphus mauritania* Lam sont peu nombreuses. Zhao *et al.*, (2008) ont caractérisé les polysaccharides solubles dans l'eau des organes d'un cultivar du jujubier de Chine (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). Les données trouvées montrent un pourcentage élevé d'acide uronique, de galactose, d'arabinose, et de rhamnose. Selon eux, ces valeurs indiquent la présence de quantités importantes de substances pectiques au niveau des organes. Les données sont présentées dans le tableau 2 :

Tableau 2: Sucres présents dans les polyosides de différents organes de jujube

	Ratio molaire					Acide uronique (%)	DE (%)
	Rha	Ara	Gal	Glu	Xyl		
Fruits	1,0	3,6	1,0	0,5	0,2	39,2	49,0
Feuilles	1,0	2,4	2,2	0,4	0,4	28,7	13,9
Fleurs	1,0	0,8	1,9	0,2	0,0	46,4	29,1

Rha : rhamnose Ara : arabinose Gal : galactose Glu: glucose Xyl: xylose DE: Degré d'estérification

Yadav *et al.*, (2011) ont étudié le métabolisme des parois cellulaires des fruits de deux cultivars de jujube d'Inde (*Umran et Illaichi*) au cours de la maturation. Les données montrent que la teneur en cellulose et en pectine pour les deux cultivars diminue au cours de la maturation. En effet, la teneur en cellulose passe de 197 et 158 g/kg de matière sèche à 95 et 82 g/kg respectivement pour les variétés *Umran et Illaichi*. Parallèlement la teneur en pectine a diminué en passant de 30 et 28 g/kg de matière sèche observée au stade vert immature pour atteindre une valeur minimale de 17 et 16 g/kg au stade sur-mûr.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel végétal

Poursuivant un travail de thèse en cours, les fruits utilisés proviennent d'une récolte effectuée en Guadeloupe (FWI). Les fruits récoltés sont lavés et traités avec une solution de chlore (1% dans l'eau) et rincés afin de stopper les éventuelles altérations microbiennes. Après un repos de 2 jours dans une chambre de maturation à 20°C, les fruits sont échantillonnés en 5 stades de développement (**Figure 3**) sur la base de la couleur liée à la maturité du fruit puis confirmé par le dégagement éthylénique. Ces fruits sont ensuite lyophilisés pour les analyses physico-chimiques ultérieures (Travaux effectués en Guadeloupe).



Figure 3 : Photos de jujubes aux 5 stades de maturité définis

Les fruits destinés au procédé de transformation ont été cueilli à différents stades de maturité et placés en chambre de maturation à 20°C afin de poursuivre leur maturation jusqu'au stade 5 (Travaux effectués en Guadeloupe). A la fin de leur maturation, les fruits sont congelés à - 80°C et transportés au CIRAD de Montpellier par avion.

Les fruits directement issus du stade de la maturité 3 sont également congelés et transportés.

2.2. Étude des polyosides

Afin de permettre une meilleure compréhension de l'évolution des polyosides au cours de la maturation, leur étude a été menée sur les lyophilisats de fruits issus des 5 stades de maturité.

2.2.1. Extraction des polyosides

L'extraction des polyosides sur les lyophilisats de jujube a été réalisée selon le protocole décrit par **Li et al., (2010)**. Elle comprend deux grandes étapes. La première permet d'extraire les matières insolubles dans l'alcool (MIA) à partir d'éthanol bouillant et l'autre, réalisée avec de l'eau bouillante, permet d'obtenir les polyosides solubles dans l'eau. Cinq g de lyophilisat sont extraits avec 100 mL d'éthanol (96%) sous reflux pendant 1h. Cette opération est répétée 3 fois en changeant l'éthanol à chaque fois. Après filtration, le retentât est séché à 37°C pendant une nuit, et constitue la MIA.

La MIA obtenue est ensuite extraite avec 100 mL d'eau bouillante sous reflux pendant 3h. Après une décantation d'une nuit à 4°C, la fraction aqueuse est obtenue par centrifugation à 4°C pendant 20 min à 15303g. Les polyosides sont ensuite précipités avec 3 volumes d'éthanol (96%) après une concentration au rotavapor.

La centrifugation suivante (20 min/4°C/15303g) permet de récupérer les polyosides solubles dans l'eau (PSE) qui sont ensuite lyophilisés. Les PSE sont donc la fraction hydrosoluble de la MIA.

2.2.2. Dosage des acides uroniques

La détermination des acides uroniques a été réalisée selon la méthode décrite par **Ibarz *et al.*, (2006)** modifiée par **Changa *et al.* (2010)**. En milieu sulfurique à chaud, les acides uroniques sont transformés en dérivés furfuriques qui se condensent avec le méthahydroxydiphényl pour former un complexe de couleur rose qui absorbe la lumière à 520 nm. La présence de tétraborate de sodium améliore la coloration.

Cinq mg de lyophilisat de PSE sont hydrolysés avec 1 mL d'acide sulfurique 72% pendant 3h à température ambiante. L'hydrolysat a été dilué en ajoutant 39 mL d'eau distillée puis filtré sur papier filtre. La réaction se fait en mélangeant 500 μ L du filtrat avec 2,5 mL d'une solution de tétraborate de sodium à 0,125M dans de l'acide sulfurique concentré. Le mélange est immédiatement plongé dans la glace afin de contrôler la température. Après homogénéisation au Vortex, la réaction se poursuit au bain marie pendant 6 min à 80°C suivi d'un refroidissement dans de la glace. Cinquante μ L d'une solution de méthahydroxydiphényl 0,15% dans de la soude 0,125M sont ensuite rajoutés au mélange puis homogénéisé au Vortex. L'instabilité de l'absorbance au cours du temps a conduit à mener une cinétique au cours du temps. L'absorbance à 520 nm a donc été mesurée toutes les 2 min pendant 20 min afin de déterminer l'absorbance maximale. La courbe d'étalonnage a été effectuée avec un standard d'acide galacturonique (0-90 mg/mL) à 520 nm. Les résultats sont exprimés en mg d'acide galacturonique pour 100 g de lyophilisat.

2.2.3. Détermination du degré de méthylation

Le degré de méthylation des pectines du jujube a été déterminé selon la méthode décrite par **Huisman *et al.*, (2004)** avec quelques modifications. Les groupes méthyles des acides uroniques sont saponifiés par le NaOH engendrant du méthanol qui est ensuite mesuré par SPME/CG en ajout dosé. Dans deux flacons de 5mL, 5mg de PSE sont mélangés à 1 mL de soude 2N. Dans le premier flacon, 1 mL d'eau est ajouté ; dans le second flacon servant d'ajout dosé, 1mL de méthanol de concentration connue est ajouté à l'autre. Les flacons scellés, sont incubés à température ambiante entre 15 et 20 h.

Le méthanol est quantifié par chromatographique en phase gazeuse par la méthode de microextraction en phase solide (SPME /GC). A l'aide d'une fibre SPME Stable Flex 85 μ m plongée dans l'espace de tête des flacons, le méthanol est adsorbé sur la fibre pendant 15min à 85°C. La désorption du méthanol au niveau de l'injecteur en mode d'injection sans division (splitless) s'effectue pendant 30s à 250°C. L'analyse se poursuit à travers une colonne DB-WAX de 30 m de long, 0,25 mm diamètre interne, film de 0,25 μ m pendant 60 mn. L'hélium a été utilisé comme gaz vecteur avec un débit de 1 mL.min⁻¹. L'identification du méthanol est réalisée en utilisant le logiciel MSD ChemStation comprenant une bibliothèque spectrale proposant le temps de rétention, la surface et les noms des composés.

Le méthanol ajouté en concentration connue dans les échantillons permet de calculer la quantité de méthanol produite au cours de la saponification. Le degré de méthylation des pectines du jujube est calculé selon l'équation 1.

$$DM = \frac{\text{Masse méthanol}}{\text{Masse molaire méthanol}} \times \frac{\text{Masse molaire acide uronique}}{\text{Masse acide uronique}} \times 100$$

Équation 1 : Degré de méthylation des pectines du jujube

Avec Masse molaire méthanol = 32g/mol et Masse molaire acide uronique = 176 g/mol

2.3. Analyses biochimiques des fruits, de la farine et des galettes

Les analyses biochimiques ont été réalisées sur les fruits et farine des stades 3 et 5 et sur les galettes élaborées à partir des fruits du stade 5.

2.3.1. Analyses courantes

La matière sèche, l'extrait sec soluble (Brix), le pH et l'Aw ont été réalisés selon les méthodes classiques. Le tableau 3 résume les méthodes et les matériels utilisés.

Tableau 3 : Analyses physico-chimiques courantes

Analyses	Méthodes	Matériels
Matière sèche (%)	70°C sous vide/ 24h	Étuve sous vide (0 bar)
ESS (%)	Lecture directe à T° ambiante	Réfractomètre automatique ATAGO de 0-53°
pH	Idem	Titrateur TitroLine easy
Aw	Idem	Awmètre Aqualab (4TE)

2.3.2. Acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée à l'aide d'un titrateur automatique TitroLine easy. Pour le fruit, la pulpe est broyée puis centrifugée (30mn/4°C/15303) afin de recueillir le jus. Deux mL du jus sont dilués au 10^{ème} pour l'analyse. Pour la farine et la galette, une prise d'essai 0,5 g est dissoute dans 20mL d'eau. La titration est réalisée avec une solution de soude commerciale de 0,1N. L'acidité titrable est exprimée en meq/100mL de jus ou en meq/100g de farine ou galette et est calculée selon l'équation 2:

$$AT = \frac{(Nb \times Vb)}{Pe} \times 100$$

Équation 2 : Acidité titrable

Avec : Nb : Normalité de la soude (mol.L⁻¹) Vb : volume de la soude (mL) Pe : Prise d'essai en mL (jus) et g (farine et galette)

2.3.3. Mesure de la granulométrie de la farine

La granulométrie de la farine a été mesurée à l'aide d'une granulomètre laser (Mastersizer 3000) qui utilise la diffraction de la lumière pour mesurer la taille des particules. Quelques mg de l'échantillon sont dissous dans de l'eau, homogénéisée au vortex puis placée dans une cuve à ultrasons pendant 5 min. La solution à analyser est introduite dans le granulomètre jusqu'à une obstruction entre 5 et 20% et l'échantillon est analysé avec une vitesse d'agitation de 1500 tr/min. Les valeurs moyennes pour chaque granulométrie sont considérées.

2.3.4. Mesure de la texture des galettes

La texture des galettes a été mesurée avec un texturomètre (Stable Micro Systems TAXT PLUS), muni d'une boule comme objet de pénétration des échantillons. Les paramètres fixés sont la vitesse de pénétration (0,7mm/s) et le pourcentage de déformation (70%). La valeur obtenue représente la force en Newton nécessaire pour déformer de la galette.

2.3.5. Dosage de la vitamine C des fruits et des farines

Cinq g de pulpe de fruit ou 1 g de farine/gâteau sont extraits avec 20 mL d'eau acidifiée avec de l'acide métaphosphorique à 4% durant 20 min. Le dosage de la vitamine C est réalisé avec une HPLC Agilent Technologies 1200 séries munie d'une colonne Zorbax ODS 5 μ m 0,4 x 250. L'analyse est réalisée en mode isochratique avec une solution d'acide sulfurique à 0,01% à un débit de 1mL/min. La courbe d'étalonnage est effectuée avec un standard d'acide ascorbique (0-200mg/L). Les résultats obtenus sont exprimés en mg d'acide ascorbique pour 100g de matière sèche.

2.3.6. Mesure de la teneur en polyphénols totaux des fruits, des farines et des galettes

Le dosage des composés phénoliques est précédé d'une étape d'extraction. Dix g de pulpe de fruit sont extraits avec 50 mL d'un mélange acétone-eau-acide formique (70-28-2 : v/v/v) durant 1h à 4°C puis filtré sur papier filtre. La réaction s'effectue avec 1 mL d'extrait additionné de 5mL d'une solution de Folin-Ciocalteu (10% dans l'eau) puis homogénéisé au Vortex. Après 4 min d'incubation, 4 mL d'une solution de NaCO₃ (7,5% dans l'eau) est rajoutée au mélange, de nouveau agité au Vortex puis incubé 1h à température ambiante à l'abri de la lumière. La réaction produit une coloration bleue dont l'absorbance est lue à 765 nm dans un spectrofluorimètre à microplaque de 96 puits (TECAN infinite 200, Austria GMBH). La gamme d'étalonnage est effectuée avec un standard de catéchine (0-80 mg/L). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent catéchine pour 100 g de matière sèche.

2.3.7. Détermination de la capacité anti-oxydante des fruits, des farines et des galettes

L'étape d'extraction est la même que pour les composés phénoliques. Dix g de pulpe de fruit sont extraits dans 50 mL d'un mélange acétone-eau-acide formique (70-28-2 : v/v/v) à 4°C durant 1h. Après filtration sur papier filtre, le dosage est réalisé selon la méthode FRAP (Ferric reducing antioxidant power) utilisant le TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) décrite par **Benzie et Strain, (1996)** avec quelques modifications.

Le réactif FRAP est préparé en mélangeant 10mL de tampon acétate (pH3.6), 10 mL d'une solution de FeCl₃, 6H₂O (20m M) avec 10mL de TPTZ (10mM) et incubé à 37°C juste avant son utilisation. 30 μ L de l'extrait dilué sont mélangés avec 170 μ L du réactif dans une microplaque et incubés durant 30min à 37°C. L'absorbance est ensuite mesurée dans un spectrofluorimètre à 590 nm. Le Trolox, un équivalent de la vitamine E est utilisé comme étalon pour la réalisation de la courbe d'étalonnage (0-150 μ Mol). Les résultats sont exprimés en mmole de Trolox pour 100g de matière sèche.

2.4. Fabrication des galettes

2.4.1. Le séchage

Afin d'optimiser le séchage des fruits, plusieurs tests ont été effectués dans un séchoir UTA à flux d'air horizontal dont la vitesse est 2,8 m/s et une humidité relative entre 10-12 % (**Tableau 4**). Les conditions de séchage retenues sont : Fruits dénoyautés, Température 45°C durant 30 heures.

Tableau 4 : Conditions de séchage des fruits séchés

Température (°C)	Configuration des fruits			
	Entiers	Ouverts	Dénoyautés	Dénoyautés- broyés
45	x		x	x
50		x		
60	x			

2.4.2. Broyage des fruits séchés

La pulpe séchée a été broyée avec un mixer (Thermomix) puis réduite en « farine » à l'aide d'un broyeur à bille Dangounill 300 (prolabo). Trois farines de granulométrie fine, intermédiaire et grossière ont ainsi été obtenues selon le temps de broyage.

2.4.3. Cuisson des galettes

La cuisson des galettes a été optimisée selon les résultats d'une analyse sensorielle préliminaire à partir des 3 farines de granulométries différentes, selon 2 modes de cuissons : un mode traditionnel avec un couscoussier et l'autre au four à vapeur à différents temps de cuisson (5, 7, 10, 15, 20 et 25 min).

2.5. Traitement statistique des données

Les données brutes obtenues ont été traitées sous Excel (Microsoft Office). Les traitements statistiques ont été réalisés à partir du logiciel STATISTICA. Pour chaque cas, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée. Pour des différences significatives ($P \leq 0,05$), un test LSD de Fisher est réalisé afin de déterminer les groupes homogènes.

3. Résultats et Discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Étude des polyosides

3.1.1.1. Évolution de la teneur en matières insolubles dans l'alcool (MIA), en polyosides solubles dans l'eau (PSE) et en acides galacturoniques (AG) en fonction des 5 stades de maturité

Une augmentation de 23,5% de la MIA est observée du stade 1 jusqu'au stade 4 suivie d'une chute de 17% du stade 4 au stade 5. Cependant une diminution de 23 % est observée du stade 1 stade 5 pour les PSE.

Les acides uroniques exprimés en équivalent acide galacturonique sont stables au cours de la maturation et représentent globalement 50% des PSE et entre 2,36 et 2,94 % du lyophilisat. Les données des MIA, des PES et des acides uroniques sont présentés dans le tableau 5. Elles sont exprimées en % par rapport au poids du lyophilisat.

Tableau 5 : Teneur en Matières Insoluble dans l'Alcool (MIA), en Polyosides Solubles dans l'Eau (PSE) et en Acide Galacturonique (AG) en fonction des 5 stades de maturité

Stades de maturité	MIA (%)	PSE (%)	AG (%)	AG (%PES)*
1	38,35 ± 4,69	6,06 ± 1,08	2,94 ± 0,11	48,57 ± 1,75
2	42,87 ± 6,99	5,65 ± 1,21	2,62 ± 0,18	46,45 ± 3,18
3	45,52 ± 7,13	5,44 ± 1,40	2,43 ± 0,50	44,62 ± 9,21
4	47,39 ± 5,63	5,14 ± 1,12	2,51 ± 0,15	48,81 ± 2,84
5	39,16 ± 5,99	4,67 ± 0,83	2,36 ± 0,16	50,56 ± 3,35

*Acide galacturonique exprimé en % de PSE

Valeurs moyennes pour deux répétitions

3.1.1.2. Degré de méthylation des acides uroniques

Le tableau 6 présente le degré de méthylation des pectines du jujube pour les 5 stades de maturité. Il est relativement stable du stade 1 (38,87 ± 3,13%) au stade 5 (42,60 ± 2,86%). Quelque soit le stade, le DM obtenu est inférieur à 50 %. Les pectines du jujube seraient en effet faiblement méthylés.

Tableau 6 : Evolution du degré de méthylation (DM) des pectines du jujube en fonction des 5 stades de maturité

Stade de maturité	DM (%)
1	38,87 ± 3,13 ^a
2	41,75 ± 2,31 ^a
3	45,60 ± 4,72 ^a
4	34,59 ± 3,76 ^a
5	42,60 ± 2,86 ^a

Valeurs moyennes pour deux répétitions

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$

3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des fruits, farine et galettes

En comparant les données physico-chimiques obtenues pour les fruits du stade 3 et ceux du stade 5, des différences sont observées pour les teneurs d'acidité titrable et de °Brix. Les fruits du stade 5 présentent des teneurs plus élevées que celles des fruits du stade 3 alors que le °Brix de la farine du stade 5 est inférieur à la valeur observée pour farine du stade. La matière sèche semble diminuer du stade 3 au stade 5 pour le fruit et la farine. De même, l'acidité titrable a diminué de la farine aux galettes.

En ce qui concerne les galettes, la MS est globalement stable entre les cuissons de 5 min à 10 min et diminue pour la cuisson de 15 min. Cependant, le pH, le °Brix ainsi que l'acidité titrable reste stables. Les données sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques physico-chimiques des fruits (Fr), farine (Fa) des stades 3 et 5 ainsi que les galettes (Ga) cuites à 5, 7, 10 et 15 min

Echantillons	Pulpe (%)	MS (%)	Brix (g/100g)	pH	Acidité titrable (meq/100g)
Fr st3	88,89 ± 0,3	19,92 ± 0,09	12,0 ± 0,0	3,33 ± 0,01	18,30* ± 0,17
Fr st5	84,25 ± 1,5	18,58 ± 0,38	15,1 ± 0,4	3,52 ± 0,03	21,10* ± 0,74
Fa st3		98,05 ± 0,02	82,6 ± 1,18	3,43 ± 0,01	111,30 ± 0,79
Fa st5		95,63 ± 0,06	74,5 ± 1,2	3,43 ± 0,02	110,33 ± 0,31
Ga 5 min		92,07 ± 0,05	76,5 ± 1,17	3,56 ± 0,04	105,37 ± 0,04
Ga 7 min		93,59 ± 0,68	74,7 ± 0,0	3,5 ± 0,01	102,02 ± 0,28
Ga 10 min		93,89 ± 0,37	75,2 ± 1,21	3,4 ± 0,06	99,37 ± 0,76
Ga 15 min		90,91 ± 0,04	76,4 ± 1,2	3,61 ± 0,08	102,97 ± 1,16

* Acidité titrable exprimée en méq/100ml

Les valeurs inscrites représentent la moyenne de trois répétitions

L'activité de l'eau a été mesurée 3h et 24h après la cuisson sur des galettes cuites à 5, 7, 10 et 15 min. Les valeurs trouvées 3h après cuisson ne se différencient pas des valeurs trouvées 24 heures après cuisson. Par contre, dans les deux cas, on constate, une augmentation de l'Aw au cours de la cuisson. Elle passe en moyenne de 0,47 à 5 min de cuisson à 0,52 à 15 min de cuisson 3h et 24h après cuisson (**Tableau 8**).

Tableau 8 : Activité de l'eau des galettes à 5, 7, 10 et 15 min de cuisson 3h et 24h après cuisson

	Aw			
	5	7	10	15
3h	0,474 ± 0,0007 ^a	0,486 ± 0,0013 ^b	0,519 ± 0,0014 ^c	0,523 ± 0,003 ^c
24h	0,469 ± 0,0038 ^{a'}	0,464 ± 0,0105 ^{a'}	0,492 ± 0,0026 ^{b'}	0,522 ± 0,005 ^{c'}

Les valeurs inscrites représentent la moyenne de trois répétitions

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à p<0,05

Pour vérifier l'effet de la cuisson sur la formation des galettes, la texture a aussi été mesurée à 3 et 24h après cuisson sur des galettes cuites à 5, 7, 10 et 15 min. La texture mesurée représente la force en Newton (N) nécessaire pour déformer de 70% les galettes. Les valeurs observées 3h après cuisson paraissent plus élevées que celles de 24h après cuisson. En outre,

elles augmentent avec le temps de cuisson. En effet, elles passent de 117,3N à 5 min à 192,13N à 15min de cuisson 3h après cuisson et de 89,28N à 5 min à 191,76N à 15 min de cuisson 24 après. La figure 4 présente l'évolution de la texture des galettes au cours de la cuisson.

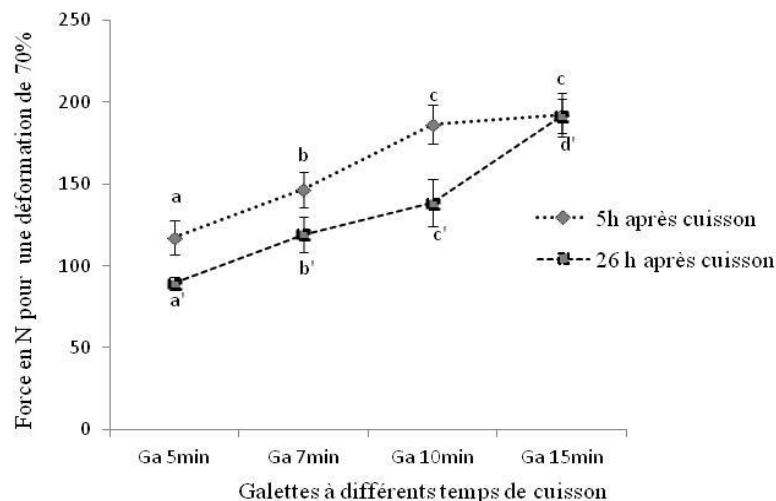


Figure 4 : Texture des galettes cuites à 5, 7, 10 et 15 min de cuisson 5h et 26h après cuisson. Les barres d'erreurs sont issues de 4 répétitions. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$

3.1.3. Caractéristiques nutritionnelles

3.1.3.1. Teneur en vitamine C des fruits et farines du stade 3 et 5

La teneur en vitamine C des fruits du stade 3 est supérieure à celle du stade 5. Elle est de 133,35 mg/100g MS pour les fruits du stade 3 alors qu'elle n'est que de 5,64 mg/100g MS pour les fruits du stade 5. En outre, la teneur en vitamine C des fruits est supérieure à celle des farines. La teneur en vitamine C des galettes est nulle (données non montrées). La figure 5 présente la teneur en vitamine C des fruits et farines pour les stades de maturité 3 et 5.

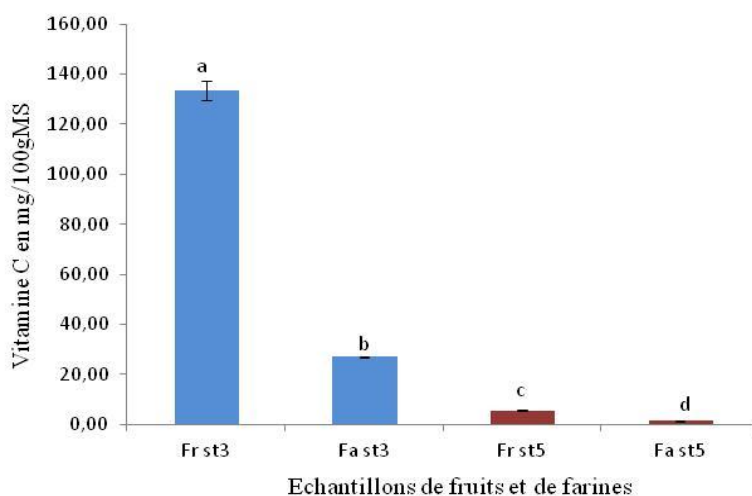


Figure 5: Teneur en vitamine C des fruits (Fr) et farines (Fa) des stades 3 et 5. Les barres d'erreurs sont issues de 4 répétitions. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$

3.1.3.2. Teneur en polyphénols totaux (PHT) des fruits, farines et galettes

La teneur en PHT a été mesurée sur les fruits et farines issues des stades 3 et 5 ainsi que sur les galettes élaborées à partir du stade 5 à des temps de cuisson de 5, 7, 10 et 15 min. La valeur obtenue reste constante du fruit à la farine pour les 2 stades de maturité étudiés. Cependant, la teneur en PHT des farines est inférieure à celle des galettes. En effet, une augmentation de 28% et de 49% est observée respectivement pour les galettes à 5 et 15min. En ce qui concerne les galettes, une légère augmentation de 13,4% est observée entre les cuissons de 5 et 15 min. La teneur en PHT des fruits du stade 3 est nettement supérieure à celle des fruits du stade 5. Du stade 3 au stade 5, la valeur obtenue a diminué de 61%. Les données sont présentées dans la figure 6.

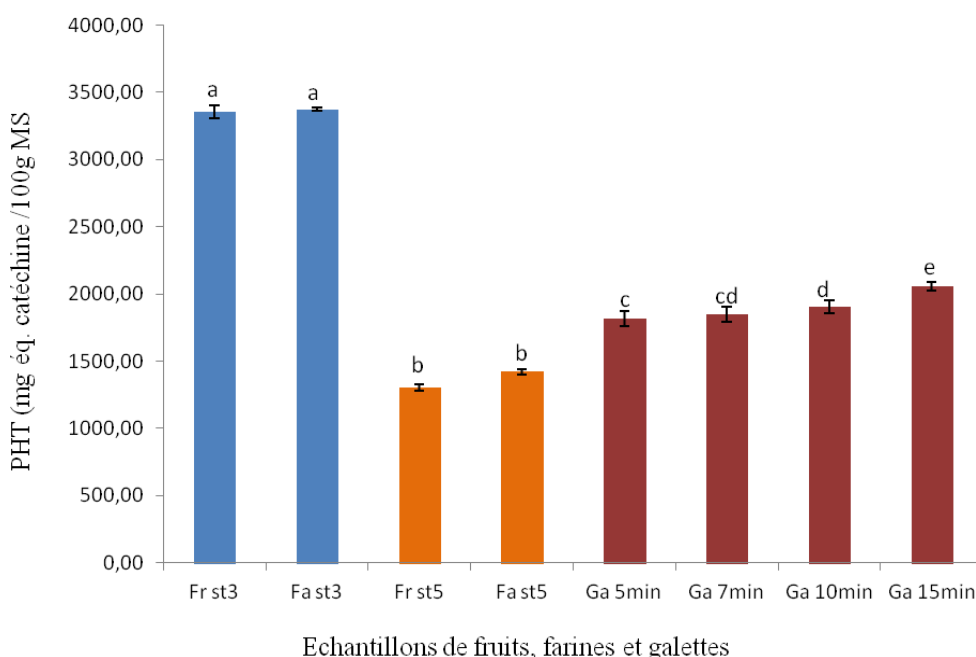


Figure 6: Teneur en polyphénols (mg/100g MS) des fruits (Fr), farines (Fa) des stades 3 et 5 et des galettes (Ga) cuites à 5, 7, 10 et 15 min. Les barres d'erreurs sont issues de 4 répétitions. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$

3.1.3.3. Capacité anti-oxydante des fruits, farines et galettes

Le profil de variation du potentiel antioxydant observé pour les fruits et farines des stades 3 et 5 ainsi que pour les galettes sont identiques à celui observé pour les valeurs des PHT. En effet, la CAO ne varie pas du fruit à la farine pour les deux stades de maturité. En outre, la CAO des galettes est supérieure à celle de la farine. Elle augmente de 122,8 % et de 172,7 % respectivement pour les galettes cuites à 5 et 15 min par rapport à la farine. La CAO augmente aussi avec la cuisson. En effet, une augmentation de 22% est observée des galettes cuites à 5 min à celles cuites à 15min. En ce qui concerne les fruits, la CAO diminue de 87% est observée du stade 3 au stade 5. Les données sont présentées dans la figure 7.

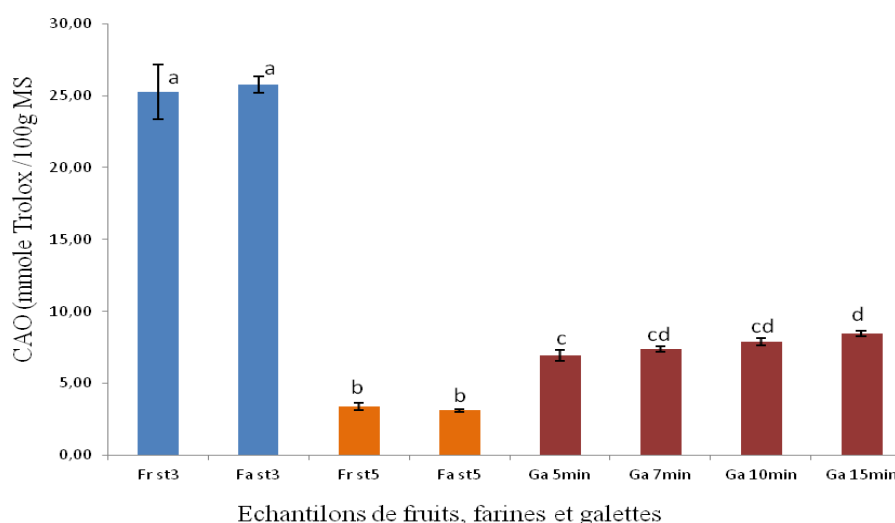


Figure 7: Capacité antioxydante des fruits (Fr), farines (Fa) des stades 3 et 5 et des galettes (Ga) cuites à 5,7,10 et 15 min. Les barres d'erreurs sont issues de 4 répétitions. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$

3.1.4. Optimisation du processus de fabrication des galettes

3.1.4.1. Dénoyautage et séchage des fruits

Les fruits de jujube sont riches en polysaccharides et sont par conséquent très visqueux. Ceci constitue un facteur limitant pour le séchage et la séparation du noyau de la pulpe. Des essais de séchage ont été réalisés sur des fruits entiers à 60°C et 45°C, sur des fruits ouverts à 50°C et sur des fruits dénoyautés à 45°C selon les conditions décrites dans le tableau 9. Le séchage des fruits dénoyautés à 45°C a été retenu.

Tableau 9 : Impact de la configuration des fruits et de la température le déroulement séchage

Configuration des fruits	Température (°C)	Observations
Entiers	60	<ul style="list-style-type: none"> - Phénomène de croutage et de brunissement des fruits - Adhérence de la pulpe au noyau rendant leur séparation difficile - Temps de cuisson relativement long (48h)
Ouverts	50	<ul style="list-style-type: none"> - Brunissement des fruits - Adhérence de la pulpe au noyau rendant leur séparation difficile
Entiers	45	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de cuisson long (4 à 5 jours) - Adhérence de la pulpe au noyau rendant leur séparation difficile
Dénoyautés	45	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de cuisson relativement court (30h) - Pas de brunissement des fruits - Pas de problème de séparation pulpe-noyau après séchage

3.1.4.2. Fabrication des galettes

Des tests de cuisson des galettes ont été réalisés avec des farines de granulométrie différente (75, 465 et 812 μ m) et à différents temps de cuisson. Pour un même temps de cuisson, la taille des particules semble avoir une influence sur les propriétés gustatives des galettes. La granulométrie intermédiaire (465 μ m) a permis d'obtenir une consistance moelleuse et fondante (Tableau 10).

Tableau 10 : Impact de la granulométrie sur la consistance des galettes

Caractéristiques de la farine	Granulométrie (μ m)	Observations de la consistance
Fine	75	Pâteuse et collante
Intermédiaire	465	Moelleuse et fondante
Grossière	812	Granuleuse

Le temps de cuisson a aussi une influence sur les propriétés des galettes. Des galettes réalisées avec la farine de granulométrie intermédiaire ont été cuites à 5, 10, 15, 25 min au couscoussier et au four à vapeur dans des conditions similaires (100°C et 99,9 de vapeur d'eau). Il n'y a eu pas de différence évidente entre la cuisson au couscoussier et au four à vapeur. A partir de l'analyse sensorielle préliminaire, le temps de cuisson idéale des galettes serait entre 7 et 10 mn (**tableau 11**).

Un test réalisé au four sans vapeur d'eau a montré qu'il n'était possible de faire les galettes sans vapeur d'eau car sans celle-ci il n'y a de prise en gel des galettes.

Tableau 11 : Impact du temps de cuisson sur les propriétés sensorielles des galettes

Temps de cuisson (min)	Observations
5	- Prise incomplète des galettes - Galettes très peu résistantes et cassantes
7	- Prise complète des galettes - Odeur et goût caractéristiques des fruits présents
10	- Prise complète des galettes - Odeur et goût acide caractéristiques des fruits présents
15	- Apparition d'une odeur de caramel - Odeur et goût caractéristiques des fruits masqués - Galettes très compactes
25	- Odeur et goût de brûlés - Odeur et goût caractéristiques des fruits masqués

3.2. Discussion

3.2.1. Etudes des polyosides

L'étude des polyosides a été menée sur les fruits issus de 5 stades de maturité afin de comprendre leur évolution au cours de la maturation. Les polyosides du jujube sont constitués d'environ 50% d'acide galacturonique. Cette valeur est constante au cours de la maturation. Des valeurs similaires (39,2 %) ont été trouvées pour une variété de jujube de chine (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) (Zhao *et al.*, 2008).

Le degré de méthylation (DM) mesuré des polyosides du jujube varie légèrement au cours des 5 stades de maturité ($38,87 \pm 3,13$ % pour le stade 1 et $42,60 \pm 2,86$ % pour le stade 5). Des valeurs similaires (41,9%) ont été trouvées pour une variété de jujube de Chine (*Zizyphus Jujuba* cv. Jinsixiaozao) (Jinwei *et al.*, 2011). Selon le classement établi par Combo *et al.*, (2011), les pectines du jujube seraient faiblement méthylées car leur degré de méthylation est inférieur à 50%. Le degré de méthylation correspond au pourcentage de groupements carboxyles d'une molécule de pectine estérifiés par le méthanol. Les propriétés gélifiantes attribuées aux pectines dépendent de ce degré de méthylation. En effet, les pectines faiblement méthylés (DM < 50%) forment des gels en présence de ions bivalents tandis que les pectines hautement méthylés (DM > 50%) forment des gels en présence de sucres neutres et en milieu acide.

Les galettes de jujube sont élaborées sans ajout d'ingrédients en présence de vapeur d'eau. Il y a une agglomération des particules de farine au cours de la cuisson qui a permis d'obtenir des galettes moelleuses dès 5 min de cuisson. Cette propriété d'agglomération peut être expliquée par la forte teneur d'acide galacturonique des polyosides (50%) mais aussi par le degré de méthylation des pectines des jujubes. En effet, les pectines du jujube, faiblement méthylées, ont pu former des gels à cause de la richesse du jujube en calcium. Selon d'autres études, le jujube (*Zizyphus mauritiana* Lam) contiendrait jusqu'à 712mg/100g de calcium (Ambé, 2001).

Les galettes ont été cuites à différents temps de cuisson afin mieux évaluer l'impact du temps de cuisson sur les propriétés physiques et gustatives des galettes. L'augmentation de l'Aw au cours de la cuisson (mesurée à 5, 7, 10 et 15 mn) confirme la prise d'eau des galettes au moment de la cuisson. Cependant, l'augmentation de la force de déformation observée au cours de la cuisson suggère que le temps de cuisson est un élément clé dans l'élaboration de ces galettes. En effet, la vapeur d'eau permet la formation d'un enchevêtrement des chaînes de pectine responsables du « moelleux » observé. Les polymères de pectine étant liés à d'autres molécules, la prise en gel qui correspond à un réseau tridimensionnel nécessite donc qu'ils soient libérés de ces liaisons par la chaleur. Le maintien de la température pourrait induire un changement rhéologique des pectines par une association de liaisons pectiniques plus resserrée engendrant alors cette augmentation de la force de déformation. Ce qui pourrait expliquer que les galettes soient plus compactes et que la force de déformation des galettes augmente pour des temps de cuisson plus longs.

Cependant, le maintien de la cuisson peut également dégrader les pectines ; les gels de pectines faiblement méthylées étant reconnus thermiquement réversibles.

La diminution de la force de déformation observée 24h après cuisson peut être dû à un ramollissement des galettes dû à une stabilisation des chaînes pectiniques engendrée par leur modification au cours du refroidissement.

3.2.2. Caractéristiques nutritionnelles

Les caractéristiques nutritionnelles des galettes aux différents temps de cuisson ont été étudiées du fruit à la farine jusqu'aux galettes afin de déterminer l'impact des différentes opérations unitaires.

Le jujube est considéré comme un fruit riche en vitamine C. La teneur en vitamine C des fruits est supérieure à celle des farines. La vitamine C étant sensible à la lumière et la chaleur ceci peut donc expliquer que la teneur en vitamine C diminue au cours du séchage. La teneur en vitamine C des galettes est nulle car le peu de vitamine C qui est resté dans la farine du stade 5 a été détruit au cours de la cuisson. La teneur en vitamine C varie en général avec la maturité. La teneur en vitamine C du stade 3 est nettement supérieure à celle du stade 5. En effet, une diminution de 97,8% a été observée du stade 3 au stade 5.

En ce qui concerne les polyphénols, leur teneur ne varie pas du fruit à la farine pour les deux stades de maturité. Le séchage semble ne pas avoir d'influence sur la teneur en polyphénols. Contrairement à d'autres composés, les polyphénols ne sont pas très sensibles à la chaleur. Certains chercheurs, pour doser la teneur en polyphénols des fruits, font des extractions à chaud jusqu'à 85°C pendant deux heures. Cette technique permet en effet de réduire voire éliminer l'influence de certains composés notamment les sucres réducteurs et la vitamine C qui conduisent souvent à une surestimation des polyphénols dosés (NgohNeewilah *et al.*, 2005). A l'identique, le potentiel antioxydant ne varie pas du fruit à la farine quelque soit le stade de maturité.

Cependant, une augmentation de la teneur en polyphénols et de la capacité antioxydante est observée au cours de la cuisson des galettes de 5 à 15 mn. La température a entraîné une modification de la matrice, ainsi des synergies entre molécules ont pu être créées et donc engendrées cette augmentation de la teneur en PHT et du potentiel antioxydant observée au niveau des galettes. De plus, au cours de la cuisson, les molécules responsables du brunissement tels que les mélanoidines, causées par la réaction de Maillard ont pu également participer à cette augmentation. En outre, la mobilisation des polyosides au cours de la cuisson ont aussi contribué à cette augmentation. En effet, le potentiel antioxydant des polyosides a été démontré sur le jujube (Li *et al.*, 2011).

NgohNeewilah *et al* (2005) ont étudié l'effet de la cuisson sur la teneur en polyphénols de quelques variétés de bananiers (*Musa sp.*) au Cameroun. Ils ont aussi trouvé que la teneur en polyphénols après cuisson à l'eau du cultivar *Pelipita* avait augmenté.

Le stade de maturité du jujube utilisé pour la fabrication des galettes est un mélange de fruits issus de différents stades récoltés le même jour et entreposés en chambre de maturation jusqu'à l'obtention du stade 5 de maturité. Les galettes élaborées traditionnellement en Afrique sont également issus de fruits de différents stades de maturité. Cependant, selon les résultats obtenus, les fruits issus d'un stade de maturité moins avancé (stade 3) et n'ayant pas subi de maturation présentent des valeurs nutritionnelles plus importantes. En effet, bien que l'extrait sec soluble et l'acidité titrable des fruits issus stade 3 soit inférieures aux fruits du stade 5, la teneur en vitamine C, en polyphénols totaux et la capacité antioxydante sont supérieures.

Des résultats similaires ont été observés sur 4 variétés de dattes, sur la mangue et la goyave notant une diminution continue des polyphénols au cours de la maturation (Ogaidi et Mutlak, 1986; Abu-Goukh et Abu-Sarra, 1993; Bashir et Abu-Goukh, 2003)

3.2.3. Optimisation du processus de fabrication des galettes

▪ Dénoyautage et séchage des fruits

Le séchage des fruits entiers à 60°C provoque la formation d'une croûte qui agit négativement sur le séchage du fruit. En effet, le séchage ne s'est produit qu'en surface du fruit en provoquant un durcissement de la peau. Il en résulte une cuisson de la pulpe, et non un séchage, l'eau étant encore présente. Après 48h de séchage, la pulpe a brunie en adhérant au noyau. A 50°C avec les fruits ouverts, 30h de séchage ont suffi, cependant la pulpe a encore brunie et s'est adhérent au noyau. Le séchage des fruits entiers à 45°C a nécessité 4 à 5 jours.

La séparation des noyaux des pulpes séchées constitue aussi un handicap majeur quand les fruits sont séchés ouverts ou entiers. En effet, au moment du séchage, il se produit un phénomène d'adhérence de la pulpe au noyau rendant ainsi leur séparation très difficile en évitant de casser les noyaux.

Pour pallier à ces problèmes, les fruits ont été donc dénoyautés avant séchage et séchés à 45°C pendant 30h. Ceci a permis non seulement d'éviter le brunissement des fruits mais aussi le problème de séparation des noyaux après séchage.

▪ Cuisson des galettes

Les farines de granulométrie grossière et fine dont la taille moyenne des particules est respectivement de 812 et 75µm n'ont pas donné les résultats escomptés. Les galettes faites avec la farine de granulométrie grossière n'étaient pas assez compactes et avait un aspect granuleux en bouche. Les galettes faites avec la farine fine se comportent comme des caramels et collent aux dents. La farine dont la taille moyenne des granules était de 465µm donnait des galettes plutôt moelleuses et fondantes.

Le temps de cuisson joue aussi un rôle important sur les propriétés des galettes. L'analyse sensorielle des galettes aux différents temps de cuisson a montré qu'un temps entre 7 et 10mn donnerait la meilleure galette en termes de texture, d'arômes, et de goût. En effet, à 5 mn de temps de cuisson, la prise en gel n'est pas totale et les galettes se cassent facilement. Entre 7 et 10 mn, la prise en gel des galettes est effective. De plus, il n'y a pas d'apparition d'odeur de « brûlé » et le goût acide et l'odeur caractéristique du fruit sont encore très présents.

Conclusion et perspectives

Ce travail réalisé au Cirad dans le cadre du projet européen AFTER visait à étudier la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.) en galettes et de mesurer l'impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle. Une première partie consistait à étudier les polyosides du jujube à 5 stades de maturité. Les résultats obtenus les matières insolubles dans l'alcool, les polyosides solubles dans l'eau et les acides galacturoniques ne montrent de différences significatives entre les stades. Le degré de méthylation obtenu pour les différents stades (<50%) permet de classer les pectines du jujube dans la catégorie des pectines faiblement méthylés.

Afin de d'évaluer l'impact des opérations unitaires sur les qualités sensorielle et nutritionnelle des galettes, des analyses biochimiques ont été réalisées sur les fruits et farines des stades 3 et 5 et sur des galettes fabriquées avec la farine issue des fruits du stade 5. La vitamine C étant sensible à la chaleur, une diminution a été observée des fruits aux farines. En outre, la teneur en Vitamine C est nulle pour les galettes. La teneur en polyphénols totaux (PHT), la capacité antioxydante (CAO) ne changent pas du fruit à la farine. Cependant, une augmentation est observée au cours de la cuisson pour la CAO et les PHT.

Les fruits du stade 3 seraient de meilleures qualités nutritionnelles que les fruits du stade 5. En effet, des différences importantes sont observées entre les fruits du stade 3 et ceux du stade 5 en ce qui concerne les teneurs en vitamine C et en polyphénols totaux et la capacité antioxydante.

Le séchage a été réalisé à différentes températures (45, 50 et 60°C) sur des fruits entiers ou dénoyautés. Les galettes ont été élaborées avec des farines de granulométries différentes (75, 465, 812 µm) et à différents temps de cuisson. La température de 45°C sur des fruits dénoyautés a permis d'avoir un meilleur séchage des fruits. Parallèlement, les galettes élaborées avec la farine de granulométrie intermédiaire (465 µm) à 7-10 mn de cuisson sont de meilleures qualités sensorielles.

Pour la suite du travail quelques perspectives pourraient être envisagées :

- ✚ Le dénoyautage des fruits avant séchage semble une bonne solution au problème de séparation de la pulpe séché du noyau du noyau. Cependant, les fruits étant très visqueux, une solution technique devrait être trouvée pour un bon déroulement de cette opération.
- ✚ Le fruit du stade 3 étant de meilleures qualités nutritionnelles, il serait intéressant de fabriquer des galettes avec les fruits de stade moins avancés que les stades 5 et de comparer leurs propriétés sensorielles par rapport à celles des galettes élaborées généralement avec les fruits du stade de maturité 5.
- ✚ Il serait aussi intéressant d'améliorer les conditions hygiéniques de fabrication des galettes. La cuisson au couscoussier, proche de la méthode de cuisson traditionnelle et les moules en silicones facilement nettoyables pour la fabrication des galettes pourraient être utilisées.
- ✚ Pour s'assurer de la conservation des galettes, un test de stabilité pourrait être envisagé.

Références bibliographiques

Abu-Goukh A B A and Abu-Sarra A F (1993). Compositional changes during mango fruit ripening. *J. Agric Sci.* , 1: 32-48.

Ambé G-A (2001). Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte-d'Ivoire : état de la connaissance par une population locale, les Malinké. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5 (1): 43-58.

Azam-Ali S, Bonkoungou E, Bowe C, deKock C, Godara A and Williams J T (2006). *Ber and other jujubes* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.underutilized-species.org/documents/publications/ber_monograph.pdf> (consulté le 30.07.2012).

Bal J S and Mann S S (1978). Ascorbic acid content of ber (*Ziziphus mauritiana*) during growth and maturity. *Science and Culture*, 44 (5): 238-239.

Bal J S, Singh P and Mann S S (1978). Changes in total yellow pigments, protein and total carbohydrates during ripening of ber fruits. *Progressive Horticulture*, 10 (1): 73-75.

Bashir H A and Abu-Goukh A B A (2003). Compositional changes during guava fruit ripening. *Food Chemistry*, 80: 557-563.

Benzie I F F and Strain J J (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *ANALYTICAL BIOCHEMISTRY* 239: 70-76.

Bouquelet S (2008). *Polysaccharides alimentaires Université des Sciences et Technologies de Lille* [en ligne]. Disponible sur : <<http://biochim-agro.univ-lille1.fr/polysaccharides/co/polysaccharides.html>> (consulté le 29.07.2013).

Changa S C, Hsua B Y and Chen B H (2010). Structural characterization of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* and evaluation of antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47 (4): 445-453.

Combo A M M, Aguedo M and Paquot M (2011). Les oligosaccharides pectiques : production et applications possibles. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15 (1): 153-164.

Depommier D (1988). *Ziziphus mauritania* Lam. Culture et utilisation en pays kapasiki (Nord-Cameroun) *Revue du bois et Forêts des Tropiques* 218: non précisé.

Huisman M M H, Oosterveld A and Schols H A (2004). Fast determination of the degree of methyl esterification of pectins by head-space GC. *Food Hydrocolloids*, 18: 665-668.

Ibarz A, Pagán A, Tribaldo F and Pagán J (2006). Improvement in the measurement of spectrophotometric data in the m-hydroxydiphenyl pectin determination methods. *Food Control*, 17: 890-893.

Ibrahim M, Shafique M Z, Helali M O H, Rahman M M, Biswas S K and Islam M S (2009). Studies on the Physiological and Biochemical Composition of Different (Zizyphus mauritiana Lamk.) Cultivars at Rajshahi. *Progressive Horticulture*, 44 (2): 229-232.

International Centre for Underutilized Crops (2001). Fruits for the Future Ber. *Factsheet*, 2: non précisé.

Jawanda J S, Bal J S, Josan J S and Mann S S (1981). Ber cultivation in Punjab. *Punjab Horticultural Journal*, 21: 17-22.

Jin-weia L, Shao-dongb D and Xiao-lina D (2005). Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube. *Process Biochemistry* 40: 3607-3613.

Jinwei L, Shana L, Liua Y, Fana L and Aib L (2011). Screening of a functional polysaccharide from Zizyphus Jujuba cv. Jinsixiaozao and its property. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49: 255-259.

Koley T K, Kaur C, Nagal S, Walia S, Jaggi S and Sarika (2011). Antioxidant activity and phenolic content in genotypes of Indian jujube (Zizyphus mauritiana Lamk.). *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 10-16.

Koné B, Kalinganire A and Doumbia M (2009). *La culture du jujubier : un manuel pour l'horticulteur sahélien*. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, 39 p.

Levigne S, Thomas M, Ralet M-C, B.Quemener and Thibault J-F (2002). Determination of the degrees of methylation and acetylation of pectins using a C18 column and internal standards. *Food Hydrocolloids*, 16: 547-550.

Li J, Fan L and Ding S (2010). Isolation, purification and structure of a new water-soluble polysaccharide from Zizyphus jujuba cv. Jinsixiaozao. *Carbohydrate Polymers* 83: 477-482.

Li J, Liua Y, Fana L, Aib L and Shana L (2011). Antioxidant activities of polysaccharides from the fruiting bodies of Zizyphus Jujuba cv. Jinsixiaozao. *Carbohydrate Polymers*, 84: 390-394.

Nag T N and Chouhan N (2009). Secondary metabolites from tissue cultures and parts of Zizyphus mauritiana cultivars Gola and Seb. *Acta Hort. ISHS*, 840: 327-334.

NgohNeewilah G, Brat P, Tchango J T, Tomekpe K, Alter P, Fokou E and Etoa F-X (2005). *Effet de la cuisson sur la teneur en polyphénols totaux de quelques cultivars de bananiers (musa sp.) au Cameroun*. [en ligne]. Disponible sur : <www.gp3a.auf.org/IMG/doc/5_Ngoh.doc> (consulté le 01.07.2012).

Obeed R S, Harhash M M and Abdel-Mawgood A L (2006). *Fruit Properties and Genetic Diversity of Five Ber (Ziziphus mauritiana Lamk) Cultivars* [en ligne]. Disponible sur : <http://faculty.ksu.edu.sa/3867/Documents/13%20Ber%20varietiesl.pdf> (consulté le 30.07.2012).

Ogaidi H K A and Mutlak H H (1986). The phenolic compounds of four date cultivars during maturity stages *The Date Palm J.*, 4: 191-196.

Pawlowska A M, Camangi F, Bader A and Braca A (2009). Flavonoids of *Zizyphus jujuba* L. and *Zizyphus spina-christi* (L.) Willd (Rhamnaceae) fruits. *Food Chemistry*, 112: 858-862.

Popovici C, Saykova I and Tylkowski B (2009). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4: 25-39.

Rathore D S (2002) Procession and marketing of underutilised fruits in India. in: N. a. H. Haq, A. (Eds.). *Fruits for the Future in Asia*. ICUC, Southampton, UK, p.134-152.

Shobha D and Bharati P (2007a). Value addition to Ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) through preparation of pickle. *Kanataka J.Agric.Sci.*, 20: 353-355.

Shobha D and Bharati P (2007b). Preparation of Burfi from Ber - A value addition. *Kanataka J.Agric.Sci.*, 20: 448-449.

Yadav P, Kumar S, Jain V and Malhotra S P (2011). *Cell Wall Metabolism in Relation to Shelf Life of Ber (Ziziphus mauritiana Lamk.) Fruits During Ripening* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.ftb.com.hr/6.Yadav_et_al.pdf> (consulté le 30.07.2012).

Zhang H, Jiang L, Ye S, Ye Y and Ren F (2010). Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) from China. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (6): 1461-1465.

Zhao Z, Liu M and Tu P (2008). Characterization of water soluble polysaccharides from organs of Chinese Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Eur Food Res Technol*, 226: 985-989.

Annexe 1 : Photos de fabrication du Yaabande au Cameroun



Figure 8 : Jujubes séchés



Figure 9: Farine de jujube



Figure 10 : Cuisson du Yaabande



Figure 11: Yaabande étalé au soleil après cuisson



Figure 12 : Yaabande après cuisson

Annexe 2 : Matériels de fabrication des galettes



Figure 13 : Séchoir UTA à humidité contrôlée



Figure : 14 Thermomix



Figure 15 : Four à chaleur tournante et humidité contrôlée



Figure 16 : Couscoussier

Annexe 3 : Cinétique de perte en eau des fruits au cours du séchage

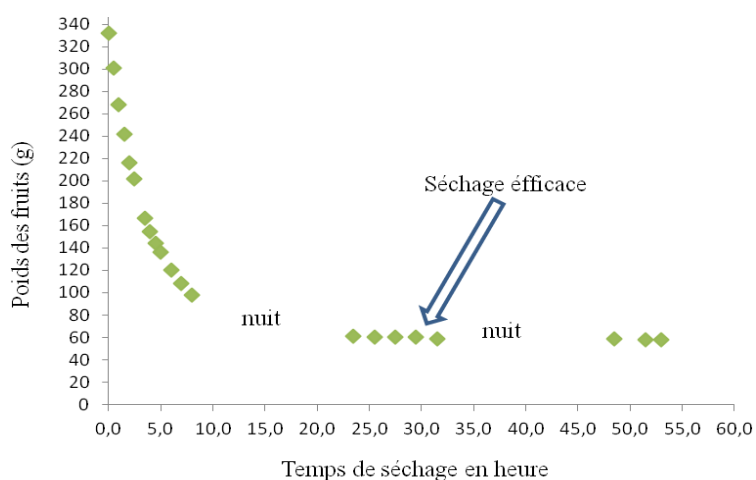
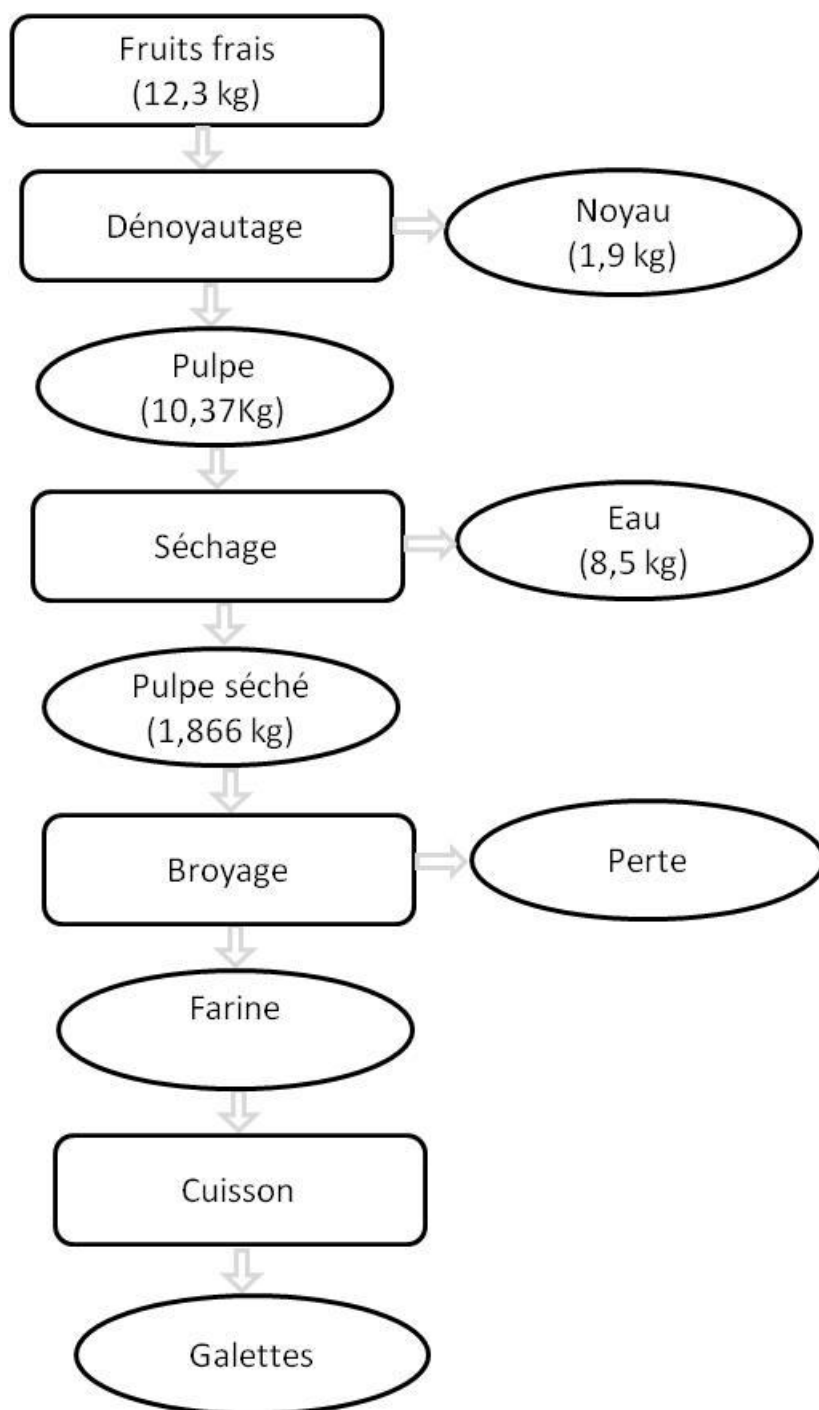


Figure 17 : Cinétique de perte en eau des fruits au cours du séchage

Annexe 4 : Diagramme de fabrication des galettes**Figure 18 : Diagramme de fabrication des galettes**

Annexe 5 : Photos de fabrication des galettes



Figure 19 : Jujubes stade 5



Figure 20 : Jujubes dénoyauté



Figure 21 : Jujubes séchés



Figure 22 : Farine de jujube



Figure 23 : Farine de jujubes dans les moules avant cuisson



Figure 24 : Galettes /Temps de cuisson : 5, 10, 15, 20 min (de droite à gauche)